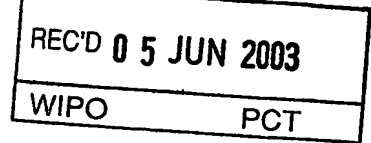


Rec'd PCT/PTC 07 SEP 2004



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 10 001.2

Anmeldetag: 7. März 2002

Anmelder/Inhaber: MTU Aero Engines GmbH, München/DE

Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zur maßgenauen Feinguss-herstellung von Bauteilen aus NE-Metall-legierungen sowie NE-Metalllegierungen zur Durch-führung des Verfahrens

IPC: B 22 D, C 22 C

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 8. April 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Ebert

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

A 9161
03/00
EDV-L

BEST AVAILABLE COPY

Verfahren und Vorrichtung zur maßgenauen Feingussherstellung von Bauteilen aus NE-Metalllegierungen sowie NE-Metalllegierungen zur Durchführung des Verfahrens

Die Feingussherstellung von NE-Metalllegierungen, vorzugsweise von TiAl-Bauteilen insbesondere zur Verwendung im Turbomaschinenbau ist aufwendig und schwierig, da während des Aufheizens und des Gießvorganges Legierungselemente aus der Schmelze verdampfen, den Gießvorgang ungünstig beeinflussende Grenzschichten gebildet werden sowie die Gefahr der Entstehung von Gieblunkern besteht, die zu einer Destabilisierung des Legierungsgefüges führen. Hierbei ist ferner zu berücksichtigen, dass die Zeit für den eigentlichen Gießvorgang gegenüber der Zeit für den Aufheizvorgang der Schmelze verschwindend gering ist.

Solche durch Feinguß hergestellten Bauteile sind daher anschließend durch ein sogenanntes HIP-Verfahren zu vergüten, d.h. durch einen heissisostatischen Pressvorgang sind Gieblunker zu verdichten und ist durch anschließende Wärmebehandlung das Gefüge des durch Gießen hergestellten Bauteils zu stabilisieren.

Die Einhaltung vorgegebener Werkstoffspezifikationen für solche derart herzustellenden Bauteile ist daher überaus kostenintensiv und hohe Ausschussquoten sind unvermeidlich.

Hier setzt nun die Erfindung ein, deren Aufgabe es ist, die Herstellung von Bauteilen aus NE-Metalllegierungen insbesondere für den Einsatz im Turbomaschinenbau mittels Feinguss signifikant zu verbessern.

Ausgehend von dem bekannten Schleuderformguss, bei dem durch Rotation eines Teils der Gießeinrichtung die Zentrifugalkräfte Einfluss auf die Formgestaltung, die Formfüllung und die Kristallisation der Schmelze nehmen, wird diese Aufgabe erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur maßgenauen Feingussherstellung mit der Außenform der jeweils herzustellenden Bauteile korrespondierenden, aus beheizten Formschalen bestehenden Gussformen, denen die Schmelze über eine beheizte Eingussvorrichtung derart zugeführt wird, dass ein vollständiges Füllen der Gussfor-

men über die Beschleunigungskräfte sowie der bei Rotation auftretenden Coriolis-Kräfte und der der Schmelze aufgeprägten Zentrifugalkräfte erfolgt.

5 Hierbei wird nach einem weiteren Merkmal der Erfindung die Schmelze für den Gießvorgang mittels der Zentrifugalkräfte entgegen der durch die Schwerkraft bestimmten Fließrichtung um annähernd 30° - 180° umgelenkt und beim Einfließen in die Gussformen durch die Coriolis-Kräfte zur homogenen Füllung der Gussformen gezwungen.

10 Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung werden die beheizte Eingussvorrichtung und die beheizten Gussformen auf vorbestimmten, mit den für die Feingussherstellung verwendeten NE-Metalllegierungen korrespondierenden, deren Fließfähigkeit aufrechterhaltenden, vorzugsweise 10 bis 200° C über dem Schmelzpunkt der NE-Metalllegierung liegenden Verfahrenstemperaturen gehalten.

15

Das erfindungsgemäße Verfahren weist eine Reihe von Vorteilen auf.

20 Überraschenderweise hat sich gezeigt, dass durch das erfindungsgemäße Verfahren die Abdampfrate der Schmelze verringert und durch die strömungsmechanisch optimierte Ausgestaltung der Eingussvorrichtung zur Ausnutzung der Coriolis-Kräfte die Porosität der Gussteile im Hinblick auf die erzielbare Verkleinerung der Poren in der Schmelze verringert und damit feinere Gefüge als bisher erzielbar sind. Daher ist eine Nachbehandlung der aus der Form entnommenen Gussteile zwecks Vergütung durch heiss-isostatisches Pressen und anschließende Zufuhr von Wärme zwecks

25 Stabilisierung des Legierungsgefüges nicht mehr notwendig. Dies führt zu einer wesentlichen Kostenreduzierung bei der Herstellung solcher Bauteile sowie zu Einsparungen bei den Materialkosten für die zu verwendenden NE-Metalllegierungen bezüglich Menge, Zusammensetzung und Reinheit. Darüber hinaus wird die Ausschussrate kleiner und werden Nachbehandlungskosten stark reduziert, wenn nicht gar

30 eingespart.

Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird nach der Erfindung als Eingussvorrichtung ein senkrecht stehender, drehbar gelagerter napfförmiger Behäl-

ter mit strömungsgünstig ausgebildeter Bodenfläche verwendet, mit dem die seiner Mantelfläche zugeordneten im vorbestimmten Abstand zur Bodenfläche angeordneten aus Formschalen bestehenden Gussformen kommunizieren, deren räumliche Anstellwinkel in Bezug auf die jeweils zugeordnete ebenfalls strömungsgünstig ausgebildeten Austrittsöffnungen des Behälters einstellbar ist, dies alles in derartiger Anordnung, dass die Gussformfüllung ohne Strömungsabrisse der Schmelze erfolgt.

Nach einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung bestehen Behälter und Gussformen aus gegenüber der Schmelze reaktionsarmer Keramik mit eingelagerten Metallpartikeln, sodass Behälter und Gussformen vorzugsweise induktiv an sich bekannter Induktoren oder mittels Mikrowellen exakt steuerbar beheizbar sind.

Vorteilhaft ist es, wenn nach einem weiteren Merkmal der Erfindung die der Zuführung der Schmelze dienende Gießrinne in Bezug auf die Schmelze ebenfalls strömungsgünstig ausgebildet ist und aus gegenüber der Schmelze reaktionsarmer beheizbarer Keramik mit eingelagerten Metallpartikeln besteht. Die Schmelze kann aber gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung auch innerhalb des Behälters der Eingussvorrichtung während dessen Rotation erzeugt werden.

Schließlich können Einfüllvorrichtungen und Gießrinne aus beschichtetem Stahl, beschichteten Graphit, aus Tantal, aus Titan oder aus Niob bestehen.

Als NE-Metalllegierung gelangt gemäß der Erfindung eine TiAl-Legierung zur Verwendung mit 30 bis 33 Gew.% Al, 4 bis 6 Gew.% Nb, 0,5 bis 3 Gew.% Mn und 0,1 bis 0,5 Gew.% B, Rest Ti.

Im Rahmen der Erfindung weist eine solche TiAl-Legierung mit 0,5 bis 3 Gew.% Mn einen Sauerstoffgehalt von 0 bis 2000 ppm, einen Kohlenstoffgehalt von 0 bis 2000 ppm, vorzugsweise 800 bis 1200 ppm, einen Nickel-Gehalt von 100 bis 2000 ppm und einen Stickstoff-Gehalt von 0 bis 2000 ppm auf. Selbstverständlich sind auch andere NE-Metalllegierungen zur Durchführung der erfindungsgemäßen maßgenauen Feingussherstellung einsetzbar.

Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Die Erfindung ist nachfolgend anhand zweier in der Zeichnung schematisch dargestellter Ausführungsbeispiele beschrieben.

5

Es zeigen

Fig. 1 ein erstes Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach der Erfindung und

10

Fig. 2 ein abgewandeltes Ausführungsbeispiel der Vorrichtung nach Figur 1.

Die Vorrichtung nach Figur 1 zeigt eine um eine Achse 10 drehbare insgesamt mit der Bezugsziffer 11 bezeichnete Eingussvorrichtung, der die Schmelze aus einer Gießpfanne 12 über eine strömungsgünstig ausgebildete Gießrinne 14 zugeführt wird.

15

Die Eingussvorrichtung 11 ist senkrecht stehend drehbar gelagert – die hierzu erforderliche Antriebsvorrichtung ist der Übersicht halber nicht dargestellt –, und umfasst einen napfförmigen Behälter 15 mit einer rotationssymmetrischen Seitenwandung 16 und einem daran angeformten strömungsoptimiert ausgebildeten Boden 18. Im Abstand a vom Boden 18 befinden sich symmetrisch am Umfang der Seitenwandung 16 verteilt strömungsmechanisch optimierte Austrittsöffnungen 19, die mit aus Halbschalen 20 bestehenden Gussformen 22 kommunizieren.

20

25

Die Gussformen sind um räumliche Winkel α in Bezug auf die zugeordneten Austrittsöffnungen 19 einstellbar mit dem Behälter 15 verbunden. Die Einstellung der Winkel α erfolgt in Abhängigkeit der spezifischen Gewichte der verwendeten NE-Metalllegierung, der Gießtemperatur und der Drehzahl n des Behälters sowie des jeweiligen spezifischen Gewichts der Legierung, sodass die gesamte Zuführung strömungsmechanisch optimiert ausgebildet ist.

30

Der Behälter 15 und die zugeordneten Gussformen 22 sind in ihrer vorbestimmten Lage mittels einer aus geeigneter Keramik bestehenden, als Matrix für diese dienenden Halterung 23 angeordnet, die zwischen einer Grundplatte 24 und einer Deckplatte 26 eingespannt ist. Über eine Öffnung 28 kann die auf Gießtemperatur aufgeheizte Schmelze aus der Gießpfanne 12 austretende und über die Gießrinne 14 weitergeleitete Schmelze in den Behälter 15 eintreten. Über geeignet exakt steuerbare Heizvorrichtungen 30 - wie z.B. Induktoren - werden sowohl die Eingussvorrichtung 11 und Gießrinne 14 als auch die Gussformen 22 derart induktiv beheizt, dass die Schmelze bis zum vollendeten Guss auf Gießtemperatur verbleibt. Diese die Fließfähigkeit der Schmelze aufrechterhaltenden Temperaturen korrespondieren mit den für die Feingussherstellung verwendeten NE-Metalllegierungen. Hierzu bestehen Gießrinnen 14, Behälter 15 und Gussformen 22 aus gegenüber der Schmelze reaktionsarmer Keramik mit eingelagerten Metallpartikeln. Behälter und Gießformen können aber auch aus beschichteten Stahl, aus Tantal, aus Titan oder aus Niob bestehen.

Mit Coriolis-Kraft wird bekanntlich die Trägheitskraft bezeichnet, die neben der Führungskraft und der Zentrifugalkraft auf einen sich in einem rotierenden System bewegenden Körper einwirkt. Die Coriolis-Kraft steht senkrecht auf der vom Geschwindigkeitsvektor und der Drehachse gebildeten Ebene.

Als NE-Metalllegierung gelangt eine TiAl-Legierung mit 30 bis 33 Gew.-Anteilen Aluminium, 4 bis 6 Gew.% Niob, 0,5 bis 3 Gew.% Mangan und 0,1 bis 0,5 Gew.% Bor, Rest Titan zur Anwendung. Vorzugsweise wird eine TiAl-Metalllegierung mit einem Sauerstoff-Gehalt von 0 bis 2000 ppm, einem Kohlenstoffgehalt von 0 bis 2000 ppm, vorzugsweise 800 bis 1200 ppm, einem Nickel-Gehalt von 100 bis 2000 ppm und einem Stickstoff-Gehalt von 0 bis 2000 ppm verwendet.

Für den Gießvorgang wird die in der Gießpfanne 12 befindliche NE-Metalllegierung durch Erhitzen in üblicher Weise in die gewünschte Schmelze überführt und gelangt - wie bereits beschrieben - über die beheizte Gießrinne 14 in die rotierende ebenfalls beheizte Eingussvorrichtung 11, wo sie durch Schwerkraft auf den Boden 18 des Behälters 15 gelangt. Infolge der Drehung des Behälters wirken auf die Schmelze Zentrifugalkräfte, die eine Richtungsumkehr der Fließrichtung der Schmelze von an-

nährend 30° bis 180° bewirken, sodass diese an der Innenwandung der Seitenwandung 16 anliegend aufsteigt bis in die Höhe der Austrittsöffnungen 19. Da die räumlichen Anstellwinkel α der Gussformen 22 derart gewählt sind, dass diese mit der Richtung der Coriolis-Kraftvektoren koinzidieren, wirken diese zusätzlich zu den

5 Zentrifugalkräften auf die Schmelze ein, was zur Folge hat, dass die Schmelze nicht nur über die Öffnungen 19 in die Gussformen eintreten kann, sondern dass diese die sich an die Öffnungen 19 anschließenden Hohlräume der Gussformen schnell und sicher sowie vollständig und homogen ausfüllt. Nach Erstarren der Schmelze werden die Gussformen abgenommen und das jeweilige Feingussbauteil in üblicher Weise

10 ausgebracht.

Bei dem in Figur 2 dargestellten, insgesamt mit der Bezugziffer 40 bezeichneten Ausführungsbeispiel der Eingussvorrichtung, dessen der Eingussvorrichtung 11 entsprechende Bauteile mit gleichen Bezugsziffern bezeichnet sind, befinden sich die in ihrer

15 Winkelstellung α einstellbaren, in der Haltung 23 gehaltenen Gussformen 22 am oberen Rand des in der Eingussvorrichtung 11 nunmehr drehbar gelagerten Behälters 15. Dieser weist in diesem Bereich einen für die Schmelze als Düse wirkenden Verteiler 42 auf. Die zum Inneren der Gussform 22 führenden Austrittsöffnungen 19 sind – wie im Ausführungsbeispiel nach Figur 1 – ebenfalls für die Schmelze strömungsgünstig ausgebildet.

20

Die NE-Metalllegierung wird hier dem Behälter 15 als im rotierenden Behälter aufschmelzender sogenannter Ingot zugeführt, sodass Gießpfanne 12 und Gießrinne 14 des Ausführungsbeispiels nach Figur 1 entfallen. Für das Einsetzen des Ingots in den

25 Behälter 15 weist dieser einen hierfür zu öffnenden Deckel 44 auf, an den Verteiler 42 befestigt ist. Hierzu ist die Deckplatte 26 abnehmbar mit der Eingussvorrichtung 40 verbunden. Da der ebenfalls induktiv aufheizbare Behälter 15 für sich allein drehbar in der Eingussvorrichtung 40 gelagert ist, sind temperaturbeständige Dichtungen 45 zwischen den Einlassöffnungen der stillstehenden Gussformen 22 und den Austrittsöffnungen 19 des sich drehenden Behälters 15 vorgesehen. Die Wirkungsweise der vorstehend beschriebenen Eingussvorrichtung entspricht der in Verbindung mit

30 Figur 1 beschriebenen Wirkungsweise, wobei jedoch über den düsenwirkungsentfal-

tenden Verteiler 42 die Zuführung der Schmelze in die Gussformen 22 und damit deren Füllung günstig beeinflusst wird.

5 Für beide Ausführungsformen, also nach Figur 1 und Figur 2, ist vorgesehen, dass die gegossenen Bauteile noch in den Gussformen auf 600 bis 700° C aufgeheizt werden können, was ebenfalls induktiv über die vorhandenen Heizvorrichtungen 30 erfolgt. Auf diese Weise wird die Abkühlungsrate der gegossenen Bauteile gesteuert niedrig gehalten, um Risse, Brüche u.ä. in den Bauteilen zu vermeiden. Die Entnahme der gegossenen Bauteile aus den Gussformen erfolgt also erst nach Erreichen des
10 jeweils gewünschten Abkühlungsgrades, der je nach Zusammensetzung der jeweils verwendeten NE-Metalllegierung zu wählen ist.

Mit der vorstehend beschriebenen Erfindung wird erstmals sichergestellt, dass die Coriolis-Kräfte der der Schmelze aufgeprägten Zentrifugalkräfte gezielt ebenfalls
15 wirksam werden können und die Schmelze ähnlich einem Druckstempel beaufschlagen und damit die Schmelze vollständig und homogen in die Gussform drängen, diese also vollständig und lunkerfrei füllen, ohne dass ein schädlicher Strömungsabriss der Schmelze sowie eine unterschiedlich erstarrende Grenzschichtbildung erfolgen kann. Durch das Aufheizen des gegossenen Bauteils in der Gussform wird die Ab-
20 kühlungsrate gesteuert niedrig gehalten, sodass die bei ungesteuerter Abkühlung auftretenden Eigenspannungen in den Bauteilen und daraus resultierende Risse, Brüche u.ä. vermieden werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur maßgenauen Feingussherstellung von Bauteilen aus NE-Metalllegierungen, insbesondere zur Verwendung im Turbomaschinenbau, mit der Außenform der jeweils herzustellenden Bauteile korrespondierenden, aus beheizten Formschalen bestehenden Gussformen, denen die Schmelze über eine beheizte drehbar gelagerte Eingussvorrichtung derart zugeführt wird, dass ein vollständiges Füllen der Gussformen über Beschleunigungskräfte einschließlich der Coriolis-Kräfte der der Schmelze aufgeprägten Zentrifugalkräfte erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schmelze für den Gießvorgang in der Eingussvorrichtung mittels der Zentrifugalkräfte entgegen der durch die Schwerkraft bestimmten Fließrichtung um annähernd 30° bis 180° umgelenkt und beim Einfließen in die Gussformen durch die Beschleunigungskräfte einschließlich der Coriolis-Kräfte zur homogenen Füllung der Gussformen gezwungen wird.
3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die beheizte drehbar gelagerte Eingussvorrichtung und die beheizten Gussformen auf vorbestimmten, mit den für die Feingussherstellung verwendeten NE-Metalllegierung korrespondierenden, deren Fließfähigkeit aufrechterhaltenden, vorzugsweise 10° bis 200° C über dem Schmelzpunkt der NE-Metalllegierung liegende Verfahrenstemperaturen gehalten werden.
4. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schmelze außerhalb oder innerhalb der Eingussvorrichtung erzeugt wird.
5. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwecks gesteuerter Minderung der Abkühlungsrate der noch in den Gussformen befindlichen Feinguss- Bauteilen diese auf 100° bis 900° C aufgeheizt werden.

6. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Eingussvorrichtung (11) ein senkrecht stehender drehbar gelagerter napfförmiger Behälter (15) mit strömungsgünstig ausgebildeter Bodenfläche verwendet ist, mit dem die an seiner Mantelfläche (Seitenwandung 16) angeordneten, im vorbestimmten Abstand (a) zur Bodenfläche (18) angeordneten aus Formschalen bestehenden Gussformen (22) kommunizieren, deren räumlicher Anstellwinkel (sr) in Bezug auf die jeweils zugeordnete strömungsgünstig ausgebildete Austrittsöffnung (19) im Behälter (15) einstellbar ist, dies alles in derartiger Anordnung, dass eine homogene Gussformfüllung ohne Strömungsabrisse der Schmelze erfolgt.
7. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Behälter (15) in der Eingussvorrichtung (40) relativ zu den einstellbar (Raumwinkel sr) angeordneten Gussformen (22) drehbar gelagert und zur Aufnahme eines aus NE-Metalllegierungen bestehenden mit den Innendurchmesser des Behälters korrespondierenden Ingots mit einem verschließbaren Deckel (44) versehen ist.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Gussformen (22) nahe dem oberen Rand des Behälters (15) angeordnet sind, deren Eintrittsöffnungen einem Behälter (15) angeordnetem düsenwirkungentfalter Verteiler (42) zugeordnet ist.
9. Vorrichtung nach den Ansprüchen 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass Behälter (15) und Gussformen (22) aus gegenüber der Schmelze reaktionsarmer Keramik mit eingelagerten Metallpartikeln bestehen.
10. Vorrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine der Zuführung der Schmelze dienende Gießrinne (14) in Bezug auf die Schmelze strömungsgünstig ausgebildet und ebenfalls aus gegenüber der Schmelze reaktionsarmer Keramik mit eingelagerten Metallpartikeln besteht.

11. Vorrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass Behälter und Gießformen aus beschichtetem Stahl, beschichtetem Graphit, aus Tantal, aus Titan oder aus Niob bestehen.
- 5 12. Vorrichtung nach den Ansprüchen 6 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Beheizen der Eingussvorrichtung (10) und der Gussformen (22) induktiv oder durch Mikrowellen erfolgt.
- 10 13. NE-Metalllegierung für die Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, auf der Basis einer TiAl-Metalllegierung mit 30 bis 33 Gew.% Al, 4 bis 6 Gew.% Nb, 0,5 bis 3 Gew.% Mn und 0,1 bis 0,5 Gew.% B, Rest Ti.
- 15 14. NE-Metalllegierung nach Anspruch 13, auf der Basis einer TiAl-Metalllegierung mit einem Sauerstoffgehalt von 0 bis 2000 ppm, einem Kohlenstoffgehalt von 0 bis 2000 ppm, vorzugsweise 800 bis 1200 ppm, einem Ni-Gehalt von 100 bis 2000 ppm und einem N-Gehalt von 0 bis 2000 ppm.

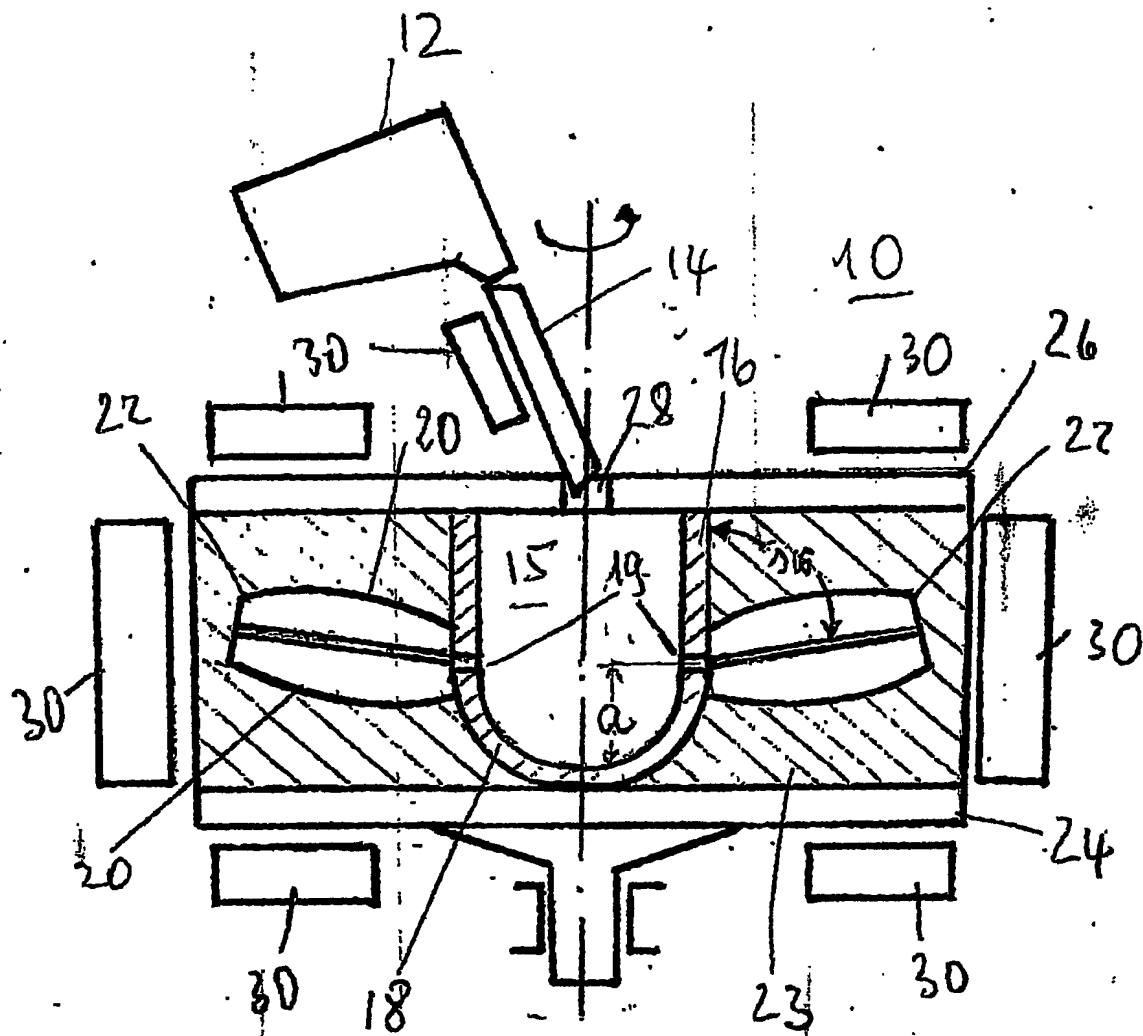


Fig 1

Zusammenfassung

Verfahren zur maßgenauen Feingussherstellung von Bauteilen aus NE-Metalllegierungen, insbesondere zur Verwendung im Triebwerksbau, unter Anwendung eines Schleuderformgussverfahrens mit der Außenform der jeweils herzustellenden, über eine gegenüber den verwendeten Legierungen reaktionsarmen strömungsmechanisch optimierten Gießrinne (14) gespeiste, an den Eingussstellen (19) ebenfalls strömungsmechanisch optimierten und an einer drehbar gelagerten Eingussvorrichtung (11) räumlich einstellbar angeordneten Gussformen (22), die alle
10 jeweils zwecks Temperaturführung während des Gießvorganges induktiv (30) beheizbar sind, dies alles in derartiger Anordnung, dass ein vollständiges homogenes und lunkerfreies Füllen der Gussformen über die Coriolis-Kräfte der der Schmelze aufgeprägten Zentrifugalkräfte erfolgt; vgl. Figur 1.

15

20

25

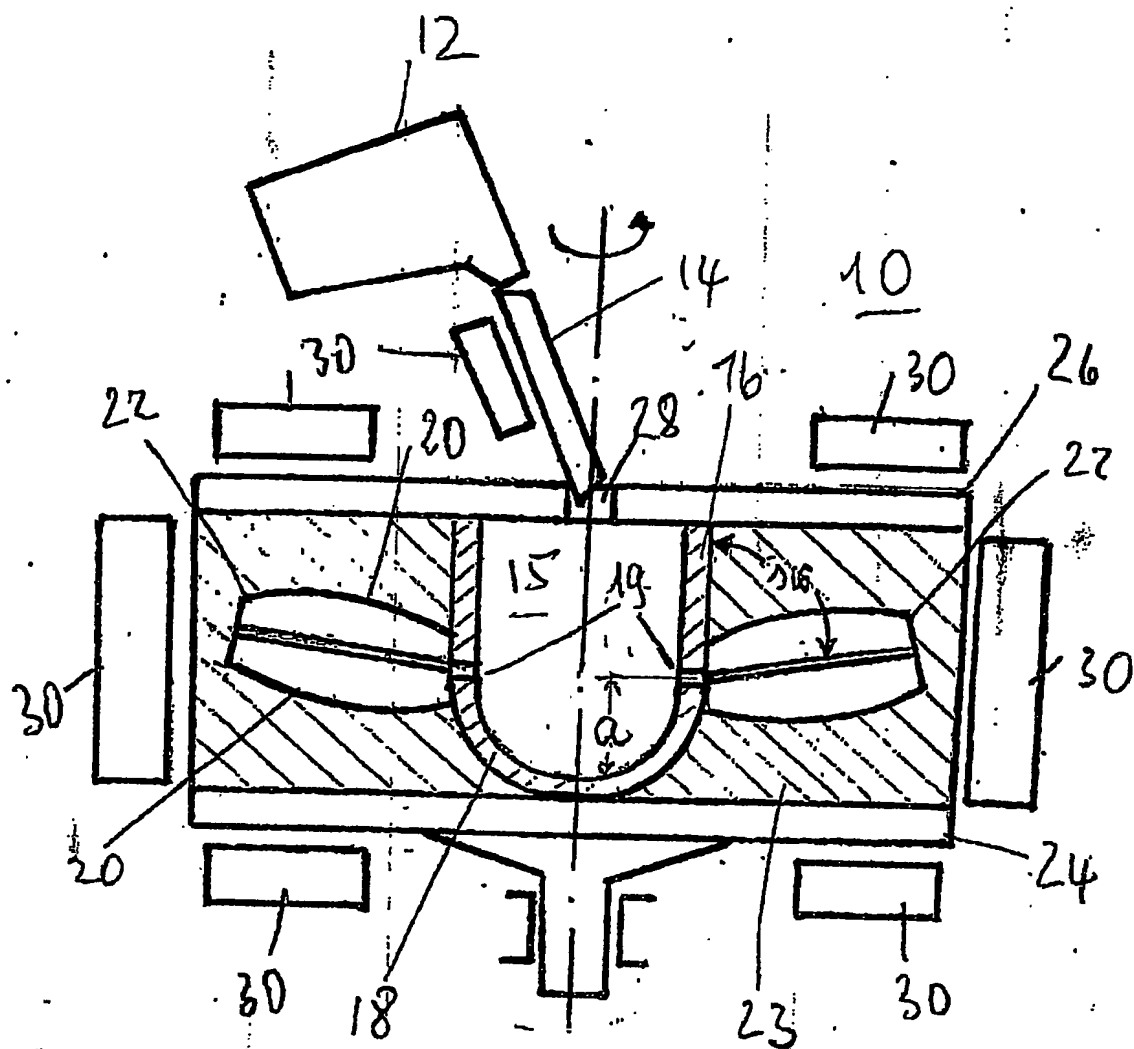


Fig 1

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.